第35卷 第4期
2018年7月
干 旱 区 研 究
ARID ZONE RESEARCH
Vol. 35 No. 4
July 2018

doi:10.13866/j.azr.2018.04.01

塔里木盆地中北部绿洲生态安全评价①

何珍珍[1,2]， 王宏卫[1,2]， 杨胜天[1,3]， 刘香云[1,2]， 王 盼[1,2]， 王 慧[1,2]

（1. 新疆大学资源与环境科学学院,新疆 乌鲁木齐 8300462；2. 绿洲生态教育部重点实验室,新疆 乌鲁木齐 830046；
3. 北京师范大学水科学研究院 环境遥感与数字城市北京市重点实验室,北京 100875）

摘 要：维护生态环境脆弱的西北干旱区绿洲生态安全,是实现区域可持续发展的重要前提。以渭干河－库车河绿洲为研究区,从绿洲生态系统结构、功能、效益三方面构建评价指标体系;运用三角模型,对2005—2014年该绿洲生态安全状态和趋势进行测算分析;采用灰色关联分析法对影响该绿洲生态安全的因子进行分析。结果表明:① 生态系统非结构性指数(NSI)总体呈逐年下降趋势;生态系统非功能性指数(NFI),呈现出波动起伏变化趋势;生态系统效益性指数(BI)总体上呈现持续上升趋势。② 在2005—2014年期间,渭干河－库车河绿洲生态安全经历了不安全－弱安全两个状态,并呈现出逐渐向安全且稳定发展的趋势。③2005—2014年影响生态渭－库绿洲生态安全的主要因子是水土协调度和造林面积。研究结果将为维持及进一步改善该绿洲生态环境提供科学依据。

关键词：绿洲；生态安全；三角模型；评价；渭干河－库车河；西北干旱区

近年来,由于城镇化进程的不断加快、工业化的迅速发展及资源开发强度的持续增加,引发一系列环境污染、资源退化、生态失衡等问题,严重威胁区域生态环境以及社会经济的可持续发展。日益严重的生态环境问题迫使人们开始重视生态安全[1]。生态安全是人类生存和社会经济发展的重要保障,维持生态安全是实现可持续发展的基础平台[2]。因此,生态安全问题引起国内外学者的高度关注,成为生态学和可持续发展研究的热点[3]。

20世纪90年代以来,生态安全这一概念逐渐兴起,并作为一种新的安全观成为公认的理论规范,得到广泛关注[4]。国内外学者对生态安全的研究主要表现在以下几个方面:① 研究尺度更为广阔,主要基于全球、国家和区域范围进行研究[5-6];② 研究对象更加多元化,包括城市、土地、草地等[7-9];③ 研究内容趋于多样化,生态安全研究的内容已由简单的自然环境评价转变为考虑经济、社会、生态整体系统的评价[10-11],许多学者还对其评价指标体系、影响因素、生态安全格局构建等做了大量研究,并取得了许多重要成果[12-13];④ 研究理论及方法更加系统化,生态安全理论研究已经成为当前生态学、地理学以及资源与环境科学研究的前沿任务和学科背景[3],生态安全研究方法主要有EES模型、PSR模型、DSR模型、DPSIR模型、模糊综合评价、生态足迹法等[14]。但是,已有的生态安全研究内容中评价指标体系更多的考虑了社会、经济、生态等方面,忽略了生态系统结构、功能、效益的合理性对生态系统安全的影响;研究对象中对生态敏感和环境退化区域的生态安全的评价较少,而这类生态环境脆弱区域如塔里木盆地中北部绿洲,具有环境容量小、生态系统抗干扰能力弱、恢复速率慢及难度大等特点。对这类敏感区域的生态安全状态及趋势进行评价,为该区域的可持续发展及生态环境的保护工作奠定基础。

鉴于此,本文以渭干河－库车河流域绿洲为研究区,以2005—2014年为时间序列,构建三角模型,对研究区生态安全状态和趋势进行测算分析;采用灰色关联分析法对影响该绿洲生态安全的因子进行分析。以期为渭干河－库车河绿洲生态安全维护提供科学依据。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

渭干河－库车河绿洲(以下简称渭－库绿洲)

① **收稿日期：**2017－10－16； **修订日期：**2017－18－18
基金项目：国家自然科学基金项目(U1603241);自治区自然科学基金(2016D01C053)
作者简介：何珍珍(1991－),女,硕士研究生,主要研究方向为干旱区绿洲人地关系与生态安全. E-mail: hzz_1012@163.com
通讯作者：王宏卫. E-mail: wanghw_777@163.com

位于新疆塔里木盆地中北部，属于阿克苏地区，辖库车、沙雅、新和 3 县，地理坐标介于 81°28′30″～84°05′06″E，39°29′51″～42°38′01″N 之间，海拔 1 500～2 000 m，土地总面积 5.24×10^4 km^2，是一个典型且完整的山前冲积扇平原绿洲。该绿洲受大陆性干旱气候影响，气温日较差大，年降水量为 46.5～64.5 mm，年均蒸发量为 1 374.1～2 092.0 mm，属于典型的大陆性暖温带极端干旱气候，干旱特征显著。至 2014 年末，绿洲内共有人口 9.62×10^5，非农业人口占 30.21%，人均生产总值 2.37×10^4 元。该绿洲主要以农业为主，是新疆主要的棉产地之一，也是阿克苏地区最大的灌溉区[15]。（图 1）。

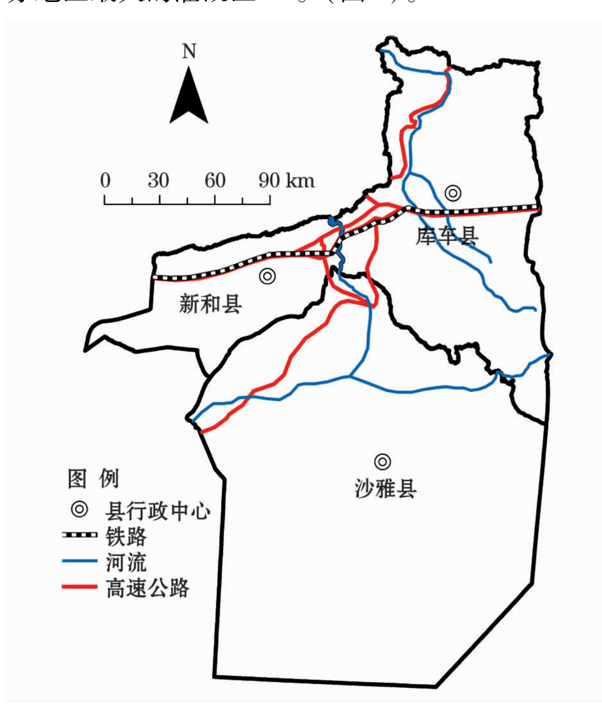


图 1 研究区示意图

Fig. 1 The map of the study area

1.2 数据来源

本研究所依据的数据主要来源于《新疆统计年鉴（2006－2015）》、《阿克苏统计年鉴》、《阿克苏年鉴》及相关政府网站公布的国民经济和社会发展统计公报等。

2 研究方法

2.1 三角模型概述

三角模型最初是美国农业部用于分析土壤中沙－粉砂－黏土的含量，并以此确定土壤类型的一种评价方法[16]。随后广泛应用于多个领域，近年来也逐渐用于土地、城市生态评价研究，三角模型可以对 3 个相关联的方面进行可视化表达，并且可以通过图解直观反映出研究对象的综合状况及趋势。本文借鉴三角模型的优点和特点，对渭－库绿洲的生态安全状态和趋势进行评价。

生态安全评价的本质是生态系统在可持续发展及满足人类需求的同时，能否维持自身结构和功能处于安全状态，并最终使其效益最大化。因此，本文拟以生态系统的结构性指数、功能性指数和效益性指数为基础，构建指标体系并建立三角模型。本研究将生态系统的结构性指数、功能性指数转化成系统的非结构性指数和非功能性指数，使生态系统的非结构性指数（NSI）、非功能性指数（NFI）和效益指数（BI）三者构成此消彼长的关系，从而符合构建三角模型的原理。

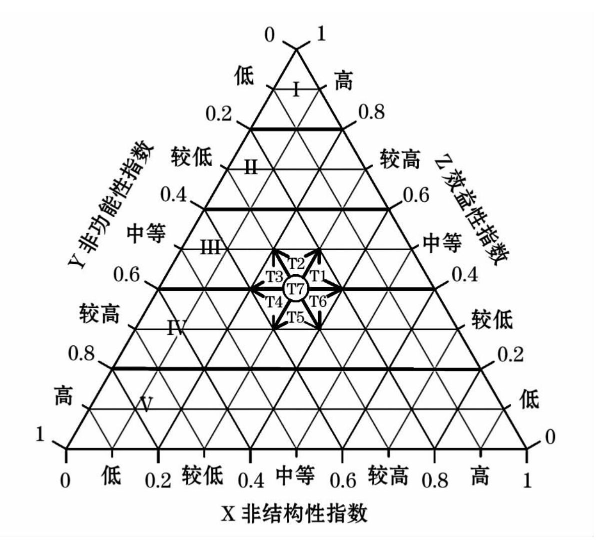


图 2 绿洲生态安全状态及趋势示意图

Fig. 2 The ecological security state and trend diagram of oasis

图 2 是在三角模型图中对 3 组指数相互关系的可视化表达，对生态系统状态及趋势进行定量评价。XYZ 轴分别代表生态系统的非结构性指数、非功能性指数和效益指数。将等边三角形的各轴沿逆时针方向均分为 5 等分，代表各指数的不同范围：非常低（0～0.2］，较低（0.2～0.4］，中等（0.4～0.6］，较高（0.6～0.8］，非常高（0.8～1］。根据 3 组指数的变化，将三角形分为 I～V 区域分别表示生态安全的不同状态（表 1）。T1，T2，T3，T4，T5，T6，T7 分别表示不同的生态安全趋势（表 2）。

2.2 构建评价指标体系

本研究从生态系统的结构、功能和效益三方面进行评价，借鉴孟优[17]等对干旱区绿洲生态安全的研究成果，结合研究区实际情况及数据的可获取性

表 1　绿洲生态安全状态评价

Tab. 1　Ecological security status evaluation of oasis

状态	指数值范围			相对指数值			相对安全状态
	BI	NSI	NFI	BI	NSI	NFI	
Ⅰ	0.8～1.0	0.0～0.2	0.0～0.2	高	低	低	很安全
Ⅱ	0.6～0.8	0.0～0.4	0.0～0.4	较高	低－较低	低－较低	较安全
Ⅲ	0.4～0.6	0.0～0.6	0.0～0.6	中等	低－中等	低－中等	一般安全
Ⅳ	0.2～0.4	0.0～0.8	0.0～0.8	较低	低－较高	低－较高	弱安全
Ⅴ	0.0～0.2	0.0～1.0	0.0～1.0	低	低－非常高	低－非常高	不安全

表 2　绿洲生态安全趋势评价

Tab. 2　Evaluation of ecological safety trend of oasis

趋势	变化范围	指数变化的相对方向			相对安全趋势
		BI	NSI	NFI	
T1	0°～60°	↑	↓	↑	一般安全
T2	60°～120°	↑	↓	↓	很安全
T3	120°～180°	↑	↑	↓	一般安全
T4	180°～240°	↓	↑	↓	弱安全
T5	240°～300°	↓	↑	↑	不安全
T6	300°～360°	↓	↓	↑	弱安全
T7	无变化	—	—	—	原始状态

注:“↑”表示增加,“↓”表示减少,“—”表示不变。

原则构建指标体系(表 3)。

2.3　评价指标权重的确定

为了能较准确地确定权重,本文利用 AHP 法和熵值法分别计算指标主观权重和客观权重,再利用最小信息熵原理将两种方法计算出的权重值进行组合求权重。

2.3.1　*层次分析法*　本文通过 Yaahp 层次分析法软件构建结构、体系分明的指标评价体系。对同一层次的各项指标,以上层的各指标为准则进行两两比较进而构建判断矩阵,并进行一致性检验,确定指

表 3　绿洲生态安全评价指标体系及权重

Tab. 3　Evaluation index system and weight of oasis ecological security

目标层	系统层	因素层	指标层	指标序号	客观权重	主观权重	组合权重
绿洲生态安全评价体系	系统结构性(NSI)	气候指数	相对湿度(%)	1	0.035 3	0.020 7	0.028 4
			降水量(mm)	2	0.036 0	0.075 1	0.054 7
			平均气温(℃)	3	0.034 1	0.010 6	0.020 0
		植被指数	植被覆盖率(%)	4	0.048 4	0.067 6	0.060 1
		土地利用结构指数	土地垦殖率(%)	5	0.067 5	0.025 2	0.043 4
			建设用地比例(%)	6	0.062 5	0.028 2	0.044 2
		社会经济结构指数	城市化水平(%)	7	0.022 8	0.036 8	0.030 5
			高中学历以上人口比例(%)	8	0.046 1	0.011 3	0.024 0
			第二产业占 GDP 比重(%)	9	0.038 2	0.012 3	0.022 8
			第三产业占 GDP 比重(%)	10	0.056 5	0.017 8	0.033 4
	系统功能性(NFI)	活力指数	GDP 增长率(%)	11	0.039 5	0.045 1	0.044 4
			人口自然增长率(%)	12	0.021 1	0.025 8	0.024 5
			农用机械总动力(10^4 KW)	13	0.055 2	0.042 2	0.050 8
		稳定性指数	人均耕地面积(km^2·人$^{-1}$)	14	0.051 8	0.051 0	0.054 1
			人均水资源量(m^3·人$^{-1}$)	15	0.022 4	0.060 3	0.038 6
			水土协调度(%)	16	0.047 8	0.118 6	0.079 2
	系统效益性(BI)	经济效益指数	人均 GDP(10^4 元)	17	0.065 4	0.038 2	0.052 5
			人均粮食产量(t·人$^{-1}$)	18	0.021 1	0.031 4	0.027 1
			居民人均存款余额(10^4 元)	19	0.041 2	0.019 5	0.029 8
		社会效益指数	千人病床数(床)	20	0.018 3	0.057 0	0.033 9
			乡村就业人员比例(%)	21	0.038 9	0.028 6	0.035 1
			人均道路面积(m^2·人$^{-1}$)	22	0.023 5	0.013 7	0.018 8
		生态效益指数	造林面积(hm^2)	23	0.046 3	0.123 9	0.079 7
			建成区绿地率(%)	24	0.028 4	0.049 3	0.039 3
			污水处理率(%)	25	0.031 6	0.027 3	0.030 9

标主观权重 W_{1j}[18]。

2.3.2 熵权法 熵权法可以增加权重的客观性。其公式为：

指标信息熵(e_j)：

$$e_j = -k\sum_{i=1}^{m}(Y_{ij} \times \ln Y_{ij}) \qquad (1)$$

信息熵冗余度(d_j)：

$$d_j = 1 - e_j \qquad (2)$$

指标权重(W_{2j})：

$$W_{2j} = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^{n} d_j} \qquad (3)$$

式中：$k = 1/\ln m$；m 为评价年数，n 为指标个数；Y_{ij} 为第 j 项指标下第 i 年份指标的比例。

2.3.3 组合权重的确定 组合权重(W_{ij})是根据最小相对信息熵原理，将层次分析法确定的主观权重 W_{1j} 和熵权法确定的客观权重 W_{2j} 进行组合计算，其公式为：

$$W_j = \frac{(W_{1j} \times W_{2j})^{0.5}}{\sum_{j=1}^{m}(W_{1j} \times W_{2j})^{0.5}} \quad (j = 1,2,3\cdots m) \qquad (4)$$

式中：W_{1j} 为第 j 项指标的主观权重；W_{2j} 为第 j 项指标的客观权重。

2.4 综合指数的计算

本文运用加权平均法计算 2005—2014 年渭－库绿洲生态系统的非结构性指数(NSI)、非功能性指数(NFI)和效益性指数(BI)3 个综合指数，其公式为：

$$NSI = 1 - SI = 1 - \sum_{j=1}^{10}(X_{ij}'' \times W_j) \qquad (5)$$

$$NFI = 1 - FI = 1 - \sum_{j=11}^{16}(X_{ij}'' \times W_j) \qquad (6)$$

$$BI = \sum_{j=17}^{25}(X_{ij}'' \times W_j) \qquad (7)$$

式中：$i = 1,2,3\cdots10$ 分别表示各年份；$j = 1,2,3\cdots25$ 分别表示各项指标。X_{ij}'' 为各指标标准化值(本文采用的是极值标准法)。

2.5 灰色关联分析法

灰色关联分析是一种多因素统计分析方法，它以各因素的样本数据为依据，用灰色关联度来描述因素间关系的强弱、大小和次序[19]。

(1) 关联系数

$$\zeta_i(k) = \frac{\min_i \min_k |X_o(k) - X_i(k)| + \rho \max_i \max_k |X_o(k) - X_i(k)|}{|X_o(k) - X_i(k)| + \rho \max_i \max_k |X_o(k) - X_i(k)|} \qquad (8)$$

(2) 计算关联系数

$$RL = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n}\zeta_i(k) \qquad (9)$$

式中：$X_o(k)$，$X_i(k)$ 分别表示参考序列和比较序列；$\zeta_i(k)$ 为关联系数；RL 为关联度；ρ 为分辨系数，在 (0,1) 中取值，本文取 0.5；n 为时间序列长度。

3 结果与分析

3.1 绿洲生态安全评价结果

由图 3 可以看出：

(1) 生态系统非结构性指数(NSI)，除在 2008，2009 年外，总体呈逐年下降趋势。说明渭－库绿洲在 2005—2014 年，生态系统结构体系中的各组成分日趋合理。在气候指数方面，相对湿度、降水量及平均气温总体趋于稳定；植被指数方面，植被覆盖率呈逐年增加趋势；土地利用结构指数方面，垦殖率在波动中趋于稳定，建设用地比例呈逐年上升趋势；社会结构指数方面，城市化水平逐年提高，二三产业所占比重逐年增加。这是由于在十一五、十二五规划期间，渭－库绿洲深入实施“农业稳县”战略，加快推进以新型工业化为着力点和主攻方向，经济水平大幅度提升。

(2) 生态系统非功能性指数(NFI)呈现出波动

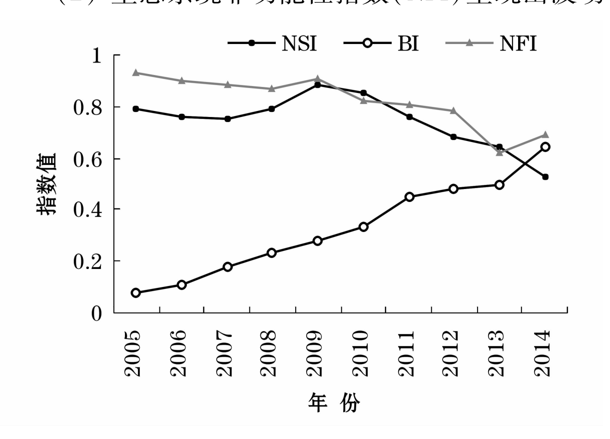


图 3 2005—2014 年渭干河－库车河绿洲生态安全评价指数变化

Fig. 3 The ecological security evaluation index of the Ugan－Kuqa oasis was changed from 2005 to 2014

递减趋势,这主要是因为活力指数和稳定指数中的人口自然增长率、人均水资源量及水土协调度变化幅度较大。由于该绿洲是以少数民族为主的聚集区,在传统生育文化和宽松的少数民族生育政策影响下,人口增长速率较快,对生态资源需求较大,进而威胁脆弱生态环境的安全,在"十二五"规划时期,新疆推动跨越式发展及在计划生育政策的引领下,人口增长速率呈下降趋势;渭-库绿洲地处天山南坡,水资源短缺,"十一五"规划期,该绿洲以发展农业为主,耕地面积的持续扩张引起耗水量的剧增及水资源的过度开发,使得生态用水量减少,水土协调不均衡。

(3) 生态系统效益性指数(BI)总体上呈现持续上升趋势,由2005年的0.08增加到2014年的0.69,说明该绿洲生态系统的经济效益、社会效益及生态效益不断提高,均向着健康和谐的方向发展。这主要得益西部大开发战略的实施,产业结构不断优化调整,带动经济的发展;基础设施的不断完善,就业人口的增多,使得社会效益大幅度提高;在生态方面,对环境保护的不断重视,不断推进城市"生态化"建设。

3.2 绿洲生态安全评价结果分析

3.2.1 绿洲生态安全状态 基于渭-库绿洲2005—2014年生态安全评价各指数值,运用Grapher 9软件绘制出2005—2014年渭-库绿洲生态安全状态图,如图4所示。

从图4可以看出,渭-库绿洲生态水平经历了2个阶段:

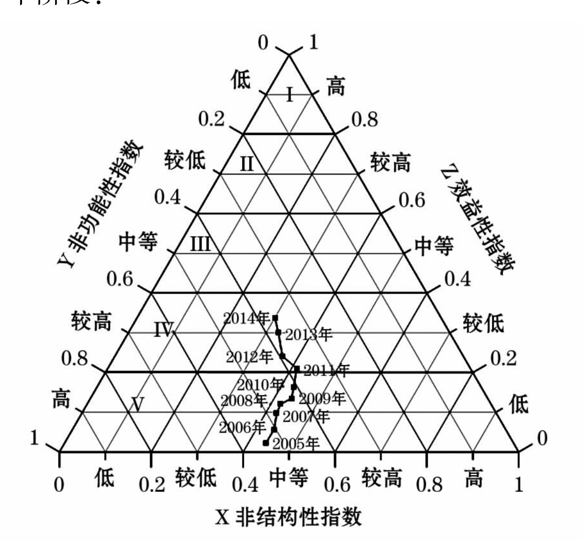


图4 2005—2014年渭-库绿洲生态安全状态及趋势

Fig. 4 The ecological security state and trend diagram of the Ugan-Kuqa oasis from 2005 to 2014

(1) 不安全状态:渭-库绿洲生态系统在2005—2010年处于不安全状态,这个时期内非功能性指数(NFI)一直处于高值区,非结构性指数(NSI)处于中值区,效益性指数(BI)处于低值区,各项指数值都反映出渭-库绿洲生态系统在这一阶段呈现出结构性差、功能性弱、效益低的特点。分析其原因:在这一时期,绿洲区域进行了大规模的土地开垦,土地利用以农业种植为主,利用方式粗放,水资源的供需矛盾加剧。同时,由于"十一五"地方政府加大了对绿洲区域的经济发展力度,使得二三产业得到一定的发展,而对环境的保护意识较缺乏。除此之外,该绿洲经济发展规模仍基于农业结构的调整和规模的扩展阶段,二三产业结构优化进程缓慢,通过水、土地资源获取的各类效益较低,产业布局调整的动力不足。

(2) 弱安全状态:2011—2014年,渭-库绿洲生态系统处于弱安全状态。绿洲生态系统非结构性指数(NSI)介于较低区间,呈逐年降低趋势,非功能性指数(NFI)处于较高区间,呈上升趋势,效益指数(BI)处于较低区间,逐渐上升。主要是由于:在"十二五"规划期内,新一轮土地利用总体规划编制完成,土地资源利用模式与优化配置处于一个适应的过程,生态系统结构还未达到最佳状态,但相对于上一个阶段,有了较为明显的改善。在这一阶段,渭-库绿洲农业用水开始改变以往的大水漫灌方式,改用节水滴灌模式,有效提高了水资源的利用率,生态系统功能在一定程度上得到了改善;同时,该绿洲二三产业处于蓬勃发展阶段,使得绿洲的经济水平在2011—2014年得到了迅速提高;由于二三产业的发展,带来了更多的就业机会,一定程度上解决该绿洲农业人口及外来流动人口的就业问题。此外,由于城市公共基础设施及社会保障体系的不断完善,加强了对生态环境的保护,取得一定的社会效益和经济效益的同时,生态效益也得到了提高。

3.2.2 绿洲生态安全趋势

(1) 整体趋势分析。从整体上可以看出,2005—2014年,渭-库绿洲生态安全趋势从不安全状态逐渐向弱安全状态发展。

(2) 阶段趋势分析。结合图4与表2可以看出,从2005—2010年,绿洲生态安全趋势较稳定(T1),NSI,NFI,BI值变化分别是增大,降低,增大;2011—2014年,其趋势很稳定(T2),NSI,NFI,BI值变化分别是降低,降低,增大。表明在2005—2014

年,渭－库绿洲生态安全趋势为很稳定的弱安全趋势。说明该绿洲由“社会、经济主导先行”发展模式逐渐转变为“社会、经济与生态协调”发展模式,随着社会经济发展水平的大幅度提升,政府也加大了对环境保护工作力度。

(3) 未来趋势预测分析。由 2005—2014 年渭－库绿洲生态安全状态变化分析可以看出,该绿洲生态系统安全水平由不安全→弱安全状态转变,向着很稳定的弱安全趋势发展;绿洲生态系统结构日趋合理,系统功能不断完善,政府在注重经济发展的同时,不断加强绿洲基础设施建设和环境保护力度,由此可以看出,渭－库绿洲在未来几年生态安全水平能够逐渐达到安全且稳定的状态。

3.3 绿洲生态安全影响因子分析

采用灰色关联分析法对渭－库绿洲生态安全影响因子进行测算,结果如表 4 所示,从中筛选出影响度 >0.9 的指标,分别是降水量、植被覆盖率、城市化水平、高中学历以上人口比例、第二产业占 GDP 比重、农用机械总动力、人均耕地面积、水土协调度、人均水资源量,人均 GDP、居民人均存款余额、千人病床数、乡村就业人员比例、造林面积、建成区绿地率。

表 4 绿洲生态安全评价指标影响度

Tab. 4 Ecological security evaluation index of oasis

因子	指标序号	关联度	关联序数
相对湿度(%)	1	0.810 7	19
降水量(mm)	2	0.912 2	11
平均气温(℃)	3	0.793 3	20
植被覆盖率(%)	4	0.906 9	15
土地垦殖率(%)	5	0.830 3	18
建设用地比例(%)	6	0.762 8	21
城市化水平(%)	7	0.950 1	4
高中学历以上人口比例(%)	8	0.931 5	8
第二产业占 GDP 比重(%)	9	0.987	1
第三产业占 GDP 比重(%)	10	0.287 6	25
GDP 增长率(%)	11	0.883 6	16
人口自然增长率(%)	12	0.718	22
农用机械总动力/(10^4kW)	13	0.979 9	2
人均耕地面积($km^2 \cdot 人^{-1}$)	14	0.929 7	9
人均水资源量($m^3 \cdot 人^{-1}$)	15	0.907 6	13
水土协调度(%)	16	0.947 7	5
人均 GDP(10^4 元)	17	0.907 4	14
人均粮食产量($t \cdot 人^{-1}$)	18	0.464 2	24
居民人均存款余额(10^4 元)	19	0.909	12
千人病床数(床)	20	0.946 4	6
乡村就业人员比例(%)	21	0.921 7	10
人均道路面积($m^2 \cdot 人^{-1}$)	22	0.686 5	23
造林面积(hm^2)	23	0.941 7	7
建成区绿地率(%)	24	0.967 7	3
污水处理率(%)	25	0.830 6	17

为进一步探索影响绿洲生态安全的主要影响因子,运用 SPASS22.0 软件对各指标的关联度及权重(由公式 4 计算出的组合权重)进行聚类分析,如图 5 所示。

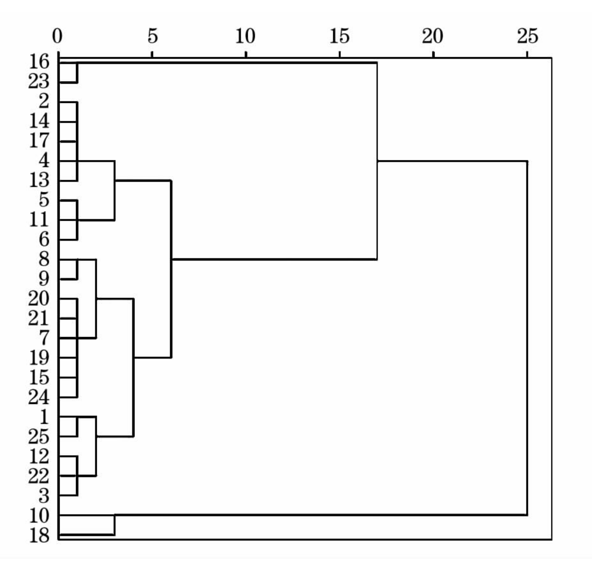


图 5 评价指标聚类分析

Fig. 5 Cluster analysis of evaluation indexes

聚类分析结果表明,16,23(水土协调度,造林面积)为第一类,其关联度及权重都比较大,说明这两项是影响该绿洲生态安全的主要影响因子,也是该绿洲生态安全预警的重要内容;2,14,17,4,13,5,11,6(降水量,人均耕地面积,人均 GDP,植被覆盖率,农用机械总动力,土地垦殖率,GDP 增长率,建设用地比例)为第二类,其关联度与权重仅次于第一类,表明这些因子对该绿洲生态安全影响程度较高,需要合理部署与安排;8,9,20,21,7,19,15,24,1,25,12,22,3(高中学历以上人口比例,第二产业占 GDP 比重,千人病床数,乡村就业人员比例,城市化水平,居民人均存款余额,人均水资源量,建成区绿地率,相对湿度,污水处理率,人口自然增长率,人均道路面积,平均气温)为第三类,其关联度较高,权重较小,表明这些因子对该绿洲生态安全具有一定的影响,后期还需要进一步加强;10,18(第三产业占 GDP 比重,人均粮食产量)为单独一类,其关联度及权重都较小,说明在维持现有状态的同时,稍加注意即可,防止其恶化。

4　讨论与结论

4.1　讨论

我国西北干旱区绿洲生态脆弱性及水资源短缺是其共性,对其进行生态安全评价具有重要意义[17]。陈亚宁等[20]研究指出,水是绿洲生存的基础,是维持干旱区经济发展、社会稳定及改善生态环境的重要基石。从本文的分析结果来看,水土协调度及造林面积是影响该绿洲生态安全的主要因子,因此,为实现绿洲稳定、绿洲社会经济可持续发展,需要"以水定地"[20],确定绿洲适宜发展规模,调整农业种植结构,发展节水产业,因地制宜地实行退耕还林还草。从绿洲生态安全的研究方法来看,目前确定指标权重主要是层次分析法、专家打分法和熵值法。层次分析法和专家打分法的优点是能判断各指标在生态上的重要性,缺点是对指标的差异性不够重视,熵权法与其相反[18]。本文的研究中引入组合赋权法,即将层次分析法确定的主观权重与熵权法确定的客观权重进行综合计算。在绿洲生态安全评价指标体系方面,已有的研究更多考虑了社会、经济、生态方面内容[10-11],而本研究通过生态系统结构、功能、效益三方面构建指标体系,对渭－库绿洲生态系统安全进行评价。此外,由于数据在时间尺度上相对较短、选取评价指标可能存在没能完全涵盖的问题,导致结果不甚完美,这也是针对这一问题尚需继续研究的现状。

4.2　结论

(1) 生态系统非结构性指数(NSI)总体呈逐年下降趋势;生态系统非功能性指数(NFI)呈现出波动起伏变化趋势;生态系统效益性指数(BI)总体上呈现持续上升趋势。

(2) 在2005—2014年,渭－库绿洲生态安全经历了不安全－弱安全两个阶段,并呈现出很稳定的弱安全发展趋势。

(3) 通过灰色关联及聚类分析可知,2005—2014年影响生态渭－库绿洲生态安全最主要的两个因子是水土协调度和造林面积,需要足够重视,并及时进行修复。

参考文献(References):

〔1〕 喻锋,李晓兵,王宏,等.皇甫川流域土地利用变化与生态安全评价〔J〕.地理学报,2006,61(6):654－653.〔Yu Feng,Li Xiaobing,Wang Hong,et al. Land use change and eco－security assessment of Huangfuchuan watershed〔J〕. Acta Geographica Sinica,2006,61(6):654－653.〕

〔2〕 张军民.干旱区生态安全问题及其评价原理—以新疆为例〔J〕.生态环境,2007,16(4):1 328－1 332.〔Zhang Junming. The ecological safety and its assessment principle in arid:A case of Xinjiang〔J〕. Ecology and Environment,2007,16(4):1 328－1 332.〕

〔3〕 迟妍妍,许开鹏,张惠远.浑善达克沙漠化防治区生态安全评价与对策〔J〕.干旱区研究,2015,32(5):1 024－1 031.〔Chi Yanyan,Xu Kaipeng,Zhang Huiyuang. Ecological security assessment and countermeasures of Hunshandake desertification control regions〔J〕. Arid Zone Research,2015,32(5):1 024－1 031.〕

〔4〕 张小虎,牛海鹏,郭增长.基于三角模型的城市土地生态安全区域差异分析—以河南省为例〔J〕.自然灾害学报,2014,23(2):21－30.〔Zhang Xiaohu,Niu Haipeng,Guo Zhengzhang. Regional difference analysis of urban land eco－security based on triangle model: A case study of Henan Province〔J〕. Journal of Natural Disasters,2014,23(2):21－30.〕

〔5〕 Faber J H,Van Wensem J. Elaborations on the use of the ecosystem services concept for application in ecological risk assessment for soils〔J〕. Science of the Total Environment,2012,415: 3－8.

〔6〕 肖笃宁,陈文波.论生态安全的基本概念和研究内容〔J〕应用生态学报,2002,13(3):354 －358.〔Xiao Duning,Chen Wenbo. On the basic concepts and contents of ecological security〔J〕. Chinese Journal of Applied Ecology,2002,13(3):354－358.〕

〔7〕 张浩,马蔚纯,HO Hon Hing.基于LUCC的城市生态安全研究进展〔J〕.生态学报,2007,27(5):2 109－2 117.〔Zhang Hao,Ma Weichun,HO Hon Hing. Recent advances in research on LUCC:Based urban ecological security〔J〕. Acta Ecological Sinica,2007,27(5):2 109－2 117.〕

〔8〕 谢花林.土地利用生态安全格局研究进展〔J〕.生态学报,2008,28(12):6 305－6 311.〔Xie Hualin. Review and the outlook of land use ecological security pattern〔J〕. Acta Ecological Sinica,2008,28(12):6 305－6 311.〕

〔9〕 杨海镇,李惠梅,张安录.牧户对三江源草地生态退化的感知〔J〕.干旱区研究,2016,33(4):822－829.〔Yang Haizhen,Li Huimei,et al. Herdsmen's perception about ecological degeneration of grasslands in the Three－river Source Region,China〔J〕. Arid Zone Research,2016,33(4):822－829.〕

〔10〕 Han B,Liu H,Wang R. Urban ecological security assessment for cities in the Beijing － Tianjin － Hebei metropolitan region based on fuzzy and entropy methods〔J〕. Ecological modelling,2015,318: 217－225.

〔11〕 Gardi C,Tomaselli M,Parisi V,et al. Soil quality indicators and biodiversity in northern Italian permanent grasslands〔J〕. European Journal of Soil Biology,2002,38(1):103－110.

〔12〕 杨人豪,杨庆媛,曾黎,等.基于BP－ANN模型的农村土地生态安全评价及影响因素分析—以重庆市丰都县为例〔J〕.水土保持研究,2017,24(3):206 － 213.〔Yang Renhao,Yang

Qingyuan,Zeng Li. Evaluation on ecological security and analysis of influence factors of rural land based on BP – ANN model – A case study of Fengdu County in Chongqing〔J〕. Research of Soil and Water Conservation,2017,24(3):206 – 213.〕

〔13〕 陈星. 区域生态安全空间格局评价模型的研究〔J〕. 北京林业大学学报,2008,30(1):21 – 28.〔ChenXing. Spatial pattern modelling of ecological security assessment in a region〔J〕. Journal ofBeijing Forestry University,2008,30(1):21 – 28.〕

?〔14〕 庞雅颂,王琳. 区域生态安全评价方法综述〔J〕. 中国人口. 资源与环境,2014,24(1):340 – 344.〔Pang Yasong,Wang Lin. A Review of regional ecological security evaluation〔J〕. China Population,Resources and Environment,2014,24(1):340 – 344.〕

〔15〕 满苏尔·沙比提,努尔卡木里·玉素甫等. 新疆渭干河—库车河三角洲绿洲水资源供需分析〔J〕. 干旱区资源与环境,2010,24(12):145 – 149.〔Mansur·Sabit,Nurkamil·Yusuf,Nasiman-Nasierding. Supply and demandanalysis on water resources in Weigan river – Kuqa river delta oasis Xinjiang〔J〕. Journal of Arid Land Resources and Environment,2010,24(12):145 – 149.〕

〔16〕 Kellogg C E. Soil survey manual〔M〕. Washington :US Department of Agriculture,1951:1937.

〔17〕 孟优,周益民,侯秀玲等. 干旱区绿洲生态安全评价研究—以新疆生产建设兵团为例〔J〕. 干旱区地理,2014,37(1):163 – 169.〔Meng You,Zhou Yimin,Hou Xiuling et al. Assessment of the eco – security in arid areas oasis:A case of Xinjiang Production and Construction Corps〔J〕. Arid Land Geography,2014,37(1):163 – 169.〕

〔18〕 李帅,魏虹,倪细炉,顾艳文,等. 基于层次分析法和熵权法的宁夏城市人居环境质量评价〔J〕. 应用生态学报,2014,25(9):2 700 – 2 708.〔Li Shuai,Wei Hong,Ni Xilu,et al. Evaluation of urban human settlement quality in Ningxia based on AHP and the entropymethod〔J〕. Chinese Journal of Applied Ecology,2014,25(9):2 700 – 2 708.〕

〔19〕 和文超,师学义,邓青云,等. 土地利用规划修编中粮食产量预测方法比较〔J〕. 农业工程学报,2011,27(12):348 – 352.〔He Wenchao,Shi Xueyi,Deng Qingyun,et al. Comparison of grain yield prediction methods inland use planning〔J〕. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2011,27(12):348 – 352.〕

〔20〕 陈亚宁,陈忠升. 干旱区绿洲演变与适宜发展规模研究—以塔里木河流域为例〔J〕. 中国生态农业学报,2013,21(1):134 – 140.〔Chen Yaning,Chen Zhongsheng. Analysis of oasis evolution and suitable development scale for arid regions:A case study of the Tarim River Basin〔J〕. Chinese Journal of Eco – Agriculture,2013,21(1):134 – 140.〕

Evaluation on Ecological Security and Analysis of Influence Factors of Oasis in Northwest Arid Region

He Zhen – zhen1,2 ,Wang Hong – wei1,2,* ,YANG Sheng – tian1,3 ,Liu Xiang – yun1,2 , Wang Pan1,2 ,Wang Hui1,2

1. *College of Resources and Environment Science*,*Xinjiang University*,*Urumqi* 830046,*China*

2. *Key Laboratory of Oasis Ecology*,*Ministry of Education*,*Urumqi* 830046,*China*

3. *College of Water Sciences*,*Beijing Key Laboratory for Remote Sensing of Environment and Digital Cities*, *Beijing Normal University*,*Beijing* 100875,*China*

Abstract: It is an important precondition for the sustainable development of the region to maintain the ecological security of oasis. This paper taked Ugan – Kuqa river oasis as the research site,and constructed the evaluation index system from the structure,function and benefit of oasis ecosystem. The ecological security status and trend of the oasis in 2005 – 2014 were calculated and analyzed with the triangle model,and the affecting factors were analyzed by grey correlation analysis. The results showed that: (1) The non – structural index (NSI) of the ecosystem was decreasing year by year,it is indicated that the components of the ecosystem structure system became more and more reasonable in the decade from 2005 to 2014;The non – functional index (NFI) of the ecosystem was in a fluctuating trend,this was mainly because the natural population growth rate of the vigor index and the per capita water resources ,the soil – water coordination in stability index had great change; The ecosystem beneficial index (BI) has generally continued to rise from 0. 08 in 2005 to 0. 69 in 2014,it indicated that the economic benefits,social benefits and ecological benefits of the oasis ecosystem continue to improve in the 10a area,and were developing towards

a healthy and harmonious direction. (2) From 2005 to 2014, the ecological security of the Ugan – Kuqa river oasis experienced two states: insecure and weak security; Ugan – Kuqa river oasis ecological system is not safe in 2005 – 2010 years, non – functional index (NFI) has been in the high range, non – structural index (NSI) has been in the medium range, beneficial index (BI) has been in the low range, the index value reflects Ugan – Kuqa river oasis ecological system presents poor structural characteristics, weak function and low benefits at this stage; In the 2011 – 2014 years, Ugan – Kuqa river oasis ecosystem was in a state of weak security. The non – structural index (NSI) of oasis ecosystem was in a relatively low range, showed a decreasing trend year by year. The non – functional index (NFI) was in a relatively high interval, showed an upward trend, and the beneficial index (BI) was in a low range, rising gradually. Based on the analysis of the change of ecological security status in the 2005 – 2014 years, we can see that the oasis ecosystem's safety level was changing from unsafe to weak safety state and toward a stable weak security trend. (3) Two factors that affect the ecological security of ecological Ugan – Kuqa river oasis in 2005 – 2014 were soil – water coordination and afforestation area, their correlation degree and weight were relatively large, and indicated that these two factors were the main factors that affect the ecological security of the oasis, and also the important content of the early warning of the oasis ecological security. Therefore, in order to realize the oasis stability and the sustainable development of oasis society and economy, it is necessary to settle the land with water and return farmland to forest and grass according to local conditions. The results will provide scientific basis for maintaining and further improving the ecological environment of the oasis.

Key words: Ecological security; Ugan – Kuqa river oasis; Triangle model; Influencing factor